

PCT/KR 02/01749  
Rec'd PCT/PTO 25 JAN 2005  
RO/KR 18.09.2002

REC'D 21 OCT 2002

WIPO PCT

대한민국 특허청

KOREAN INTELLECTUAL  
PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원 번호 : 특허출원 2002년 제 44828 호  
Application Number PATENT-2002-0044828

출원 년 월 일 : 2002년 07월 30일  
Date of Application JUL 30, 2002

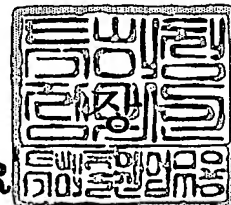
출원인 : 한국원자력연구소 외 1명  
Applicant(s) KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE, et al.



2002 년 08 월 16 일

특 허 청

COMMISSIONER



PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0001
【제출일자】	2002.07.30
【발명의 명칭】	레이저를 이용한 탈륨 동위원소 분리방법
【발명의 영문명칭】	A METHOD OF SEPARATING THALLIUM ISOTOPES USING LASER SYSTEM
【출원인】	
【명칭】	한국원자력연구소
【출원인코드】	3-1998-007760-9
【출원인】	
【명칭】	한국수력원자력 주식회사
【출원인코드】	1-2001-015087-2
【대리인】	
【성명】	손원
【대리인코드】	9-1998-000281-5
【포괄위임등록번호】	2002-018871-2
【포괄위임등록번호】	2002-030359-1
【발명자】	
【성명의 국문표기】	정도영
【성명의 영문표기】	JEONG, Do Young
【주민등록번호】	640124-1023911
【우편번호】	305-761
【주소】	대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 106-1006
【국적】	KR 305-761
【발명자】	
【성명의 국문표기】	고광훈
【성명의 영문표기】	KO, Kwang Hoon
【주민등록번호】	690129-1046920
【우편번호】	305-503
【주소】	대전광역시 유성구 송강동 청솔아파트 308동 501호
【국적】	KR 305-752

## 【발명자】

【성명의 국문표기】

임권

【성명의 영문표기】

LIM, Gwon

【주민등록번호】

690207-1405911

【우편번호】

301-152

【주소】

대전광역시 중구 태평2동 삼부아파트 25동 91호

【국적】

KR

301-114

## 【발명자】

【성명의 국문표기】

김철중

【성명의 영문표기】

KIM, Cheol Jung

【주민등록번호】

511116-1037310

【우편번호】

305-755

【주소】

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 101-1803

【국적】

KR

305-755

## 【심사청구】

청구

## 【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인  
손원 (인)

## 【수수료】

【기본출원료】

20 면 29,000 원

【가산출원료】

4 면 4,000 원

【우선권주장료】

0 건 0 원

【심사청구료】

10 항 429,000 원

【합계】

462,000 원

## 【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)\_1통

## 【요약서】

## 【요약】

레이저를 이용하여 표적 동위원소를 준안정 상태로 선택적으로 광펄스한 후, 펄스 레이저를 이용하여 그 준안정 상태의 원자를 여기 상태를 거쳐 연속준위로 광이온시키는 광이온화 단계를 포함하는 탈륨 동위원소 분리방법이 제공된다.

광이온화된 탈륨이온은 전기장내에서 분리된다.

본 발명의 방법에 의하면 현재 상업적으로 적용되고 있는 전자기적 방법보다 경제적으로 그리고 소규모의 장치를 이용하여 다량의  $^{203}\text{Tl}$  동위원소 제조가 가능하다.

## 【대표도】

도 1

## 【명세서】

## 【발명의 명칭】

레이저를 이용한 탈륨 동위원소 분리방법{A METHOD OF SEPARATING THALLIUM ISOTOPES USING LASER SYSTEM}

## 【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명에 의한 탈륨 동위원소 분리방법을 실시하기 위한 장치의 개략도로써,

(a)는 장치의 각 부분별 배치를 예시하고 있으며

(b)는 도(a)의 측면에서 본 것으로써 광이온화된 탈륨원소가 전기장에 의해 수집되는 것을 보여준다.

도 2는 본 발명에 의한 방법에 있어서 탈륨원자의 부분 에너지 준위의 일예를 보여주는 모식도

도 3은 본 발명에 의한 방법에 있어서 광펄스에 관련된 동위원소 이동과 초미세구조를 나타내는 도면

도 4는 출력이 20mW이며 직경이 10mm인 가우시안 세기 분포를 갖는 광펄스 레이저를 이용하여 탈륨 동위원소의 광펄스 스펙트럼을 측정한 결과를 나타낸 그래프.

도 5는 출력이 200mW이며 직경이 10mm인 가우시안 세기 분포를 갖는 광펄스 레이저를 이용하여 탈륨 동위원소의 광펄스 스펙트럼을 계산한 결과를 나타낸 그래프.

도 6은 Nd:YAG 레이저의 1064nm 파장에 있어서 탈륨원자의  $7^2D_{5/2}$  준위의 광이온화 단면적 측정결과를 나타낸 그래프.

도 7은 탈륨 동위원소의 선택적 광이온화 질량 스펙트럼 측정 결과로써,

(a)는 비선택적으로 광이온화된 탈륨 원자의 질량 스펙트럼

(b)는 광펄스 레이저의 주파수를  $^{205}\text{Tl}$  동위원소에 공명시켰을 때의 광이온화 질량 스펙트럼

(c)는 광펄스 레이저의 주파수를  $^{203}\text{Tl}$  동위원소에 공명시켰을 때의 광이온화 질량 스펙트럼을 각각 나타낸다.

\* 도면의 주요부위에 대한 부호의 설명 \*

- 1 : 탈륨원자빔 발생장치
- 2 : Tl 원자빔
- 3 : 원자빔 콜리메이터
- 4 : 광펄스 레이저(cw laser)
- 5, 6 : 자외선 및 적외선 펄스레이저
- 7 : 탈륨이온 수집장치
- 8 : Tl 이온
- 9 : 전자

## 【발명의 상세한 설명】

## 【발명의 목적】

## 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <22> 본 발명은 탈륨(Thallium) 동위원소의 분리방법에 관한 것이며, 특히 레이저를 이용하여 소규모의 시설로 탈륨동위원소를 분리하는 방법에 관한 것이다.
- <23> 탈륨은 자연상태에서 존재비가 29.5%인  $^{203}\text{Tl}$ 과 존재비가 70.5%인  $^{205}\text{Tl}$ 등 두 종류의 동위원소로 구성된다. 그 중에서  $^{203}\text{Tl}$  동위원소는 상업적으로 유용한 것으로써  $^{201}\text{Tl}$  방사성 동위원소의 제조원료(source material)로 사용된다.  $^{201}\text{Tl}$ 은 가속기-생산된 방사성 동위원소로서,  $^{203}\text{Tl}$ 이 농축된 표적에 19-31 MeV 양자빔을 조사하여  $^{203}\text{Tl}(p, 3n)^{201}\text{Tl}$ 반응에 따라 제조된다. 심장질환 및 뇌질환 진단에 폭 넓게 사용되는 SPECT(single photon emission computerized tomography)용  $^{201}\text{Tl}$  방사성 의약품은  $^{201}\text{Tl}$  방사성 동위원소의 표지 화합물(labelled compound)이다.
- <24> 혈관에 주입된 탈륨 방사성 의약품은 심장 근육에 침투하여 붕괴하면서 167.4keV의 감마선을 방출한다. 신체외부에서 카메라로 그 감마선을 촬영하여, 심장 근육중에서 혈액의 공급이 부적당한 부분을 관측할 수 있고 이를 통해 심장질환을 진단할 수도 있는 것이다.
- <25> 현재까지 상업적으로 적용되고 있는 탈륨 동위원소 분리기술은 전자기적(electromagnetic: EM)방법이 유일하다. 전자기적 방법은 단일 에너지의 탈륨 이온빔이 공간적으로 균일한 자기장을 통과할 때 그 운동궤적이 동위원소에 따라 공간적으로 분리되는 원리를 이용한 것이다. 이같은 전자기적 방법은 20세기 중반에 개발된 기술로서 원

소의 적용성이 넓다는 장점이 있으나, 일반적으로 단위시간당 생산량이 적고, 분리단가가 높아 비경제적이라는 점이 큰 단점으로 지적되고 있다.

<26> 한편, 금속원소의 원자빔에 레이저를 작용시켜 표적 동위원소를 선택적으로 이온화시키고, 원자빔에 전기장을 인가하여 원자증기의 흐름으로부터 표적 동위원소의 이온을 추출하는 원자증기 레이저 동위원소 분리(atomic vapor laser isotope separation: AVLIS) 기술이 상기 종래의 전자기적 방법의 단점을 극복할 수 있는 대안으로 부각되고 있으며, 현재 다양한 원소를 대상으로 실증되고 있다.

<27> 예를들어 미국특허 4,793,307 (1988), 5,202,005 (1993), 5,376,246 (1994) 및 5,443,702 (1995)는 각각 수은(mercury: Hg), 가돌리늄(gadolinium: Gd), 지르코늄(Zr) 및 어븀(erbium: Er)원자의 동위원소 분리에 대하여 가르치고 있으며, 일본특허출원 공개 JP1999-99320A는 미국특허 4,793,307 (1988)에서 고안한 수은 동위원소의 광이온화 경로(photoionization pathway)와는 다른 경로를 개시하고 있다.

<28> 레이저를 이용한 동위원소 분리가 특정원소에 대해 기술적으로 실현 가능한지를 판단하기 위해서는 선택적 광이온화 경로를 포함한 다양한 문제점에 대해 자세한 고찰이 필요하다. 원자빔의 발생, 광이온 생성물의 효과적인 수집 등이 여기에 포함되며, 광이온화 경로와 관계되는 각 준위의 동위원소 이동, 초미세구조, 에너지, 각운동량(angular momentum), 수명등의 원자분광 상수에 대한 지식이 요구된다.

<29> 특정 원소에 대해 레이저 동위원소 분리가 기술적으로 실현 가능한 경우, 레이저 동위원소 분리 기술로 생산한 생산물의 가격과 타 기술로 생산한 생산물의 가격을 비교하여 그 기술의 경제성을 평가한다. 이러한 평가를 위해서는 원자빔의 특성을 결정짓는



원소의 물성은 물론, 광이온화 경로와 관계되는 레이저의 수, 레이저의 출력, 선폭 등을 고려하여야 한다.

<30> 이와 관련하여, 탈륨 원자는 동위원소 이동이 작고, 광이온화에 사용할 만한 자동 이온화 준위가 없다. 따라서, 미국특허 4,793,307 (1988), 5,443,702 (1995)에서 사용한 다단계 광이온화 방법을 레이저 탈륨 동위원소 분리에 적용할 경우 분리계수가 매우 낮을 것으로 예상되며, 자동이온화 준위로의 전이를 이용하는 광이온화 경로를 이용할 수도 없다. 또한  $^{203}\text{Tl}$ 과  $^{205}\text{Tl}$ 의 핵자기 모멘트가 모두  $1/2$ 로 동일하기 때문에 상기 미국특허 5,202,005 (1993)에서 사용한 각운동량 선택률(angular momentum selection rule)을 이용하여 동위원소를 분리하는 것도 불가능한 것이다.

<31> 일본특허출원 공개 제2000-262866 A는 미국특허 5,945,649에서 고안한 선택적 이온화 방법을 탈륨 동위원소 분리에 적용하고 있다. 이에 의하면 377.6nm 근처의 파장을 갖는 레이저와 443.7nm 근처의 파장을 갖는 레이저로 바닥준위의 탈륨 동위원소를 동위원소 선택적으로 최종적인  $49000\text{ cm}^{-1}$  근처의 리드베리(Rydberg) 준위로 여기 시킨 후, 외부 전기장을 이용하여 이온화시키는 방법을 개시하고 있다. 이 때, 리드베리 준위로의 여기 과정에서 레이저의 주파수와 중간 준위( $26,477.6\text{ cm}^{-1}$ ) 사이에 1GHz 내외의 이조(離調, detuning)를 설정하고 있다. 이 과정은 2색 2광자 여기(2-color 2-photon exciation)과정이다. 상기 '866발명에서는 2광자 여기의 특성을 이용하여 높은 여기효율과 높은 동위원소 선택성 모두를 얻기위하여는 레이저가 푸리에 변환한계 선폭(Fourier-transform limited bandwidth)에 가까운 선폭을 지니고 있어야 하며, 두 레이저가 서로역전파(counter-propagate) 하여야한다. 뿐만아니라 중간준위로 부터 이조에 의해 생긴 원자준위의 스타크 이동 (Stark shift)은 2-광자 여기효율을 크게 저하시키는

바 이를 피하기 위해서는 소위  $\pi$ -펄스방법의 조건에 부합되도록 레이저의 출력과 주파수를 정밀 제어하여야 하며, 또한 두 레이저의 펄스타이밍을 정확히 일치시켜야 한다.

<32> 그러나 매질 내에서 두 레이저를 역전파 하도록 하면서 두 레이저의 펄스 타이밍을 일치시키는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 어느 정도의 여기효율 저하는 피할 수 없다. 또한 탈륨 동위원소를 다량으로 생산하고자 하는 경우 리드베리 준위의 동위원소를 전계 이온화(field ionization)시키는 과정에서 초기에 발생된 플라즈마가 외부 전기장을 차폐하여 전계이온화 효율을 크게 떨어뜨릴 수도 있다.

<33> 이같은 이유로 일본특허출원 공개 2000-262866 A의 방법에 기술된 탈륨동위원소 분리방법은 기술적으로는 실현 가능성은 있어 보이나, 상업적으로 적용되기 위해서는 해결하여야 할 여러가지 문제점이 있는 것이다.

#### 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<34> 따라서 본 발명의 목적은 상기한 바와 같은 종래방법의 문제점을 해소하여 상업적으로 이용가능한 레이저를 이용하여 특히 소규모의 설비로 다량의 탈륨 동위원소를 효과적으로 분리할 수 있는 보다 경제적인 탈륨 동위원소 분리방법을 제공하는 데 있다.

#### 【발명의 구성 및 작용】

<35> 본 발명의 방법에 의하면,  $^{203}\text{Tl}$ 과  $^{205}\text{Tl}$ 등 복수의 동위원소를 갖는 탈륨증기로 부터 특정 탈륨 동위원소를 분리하는 방법이 제공되며,

<36> 이 방법은,

- <37> 레이저 시스템에 의해 파장 378nm에 해당하는 제 1 주파수의 광자, 파장 292nm에 해당하는 제 2 주파수의 광자 및 파장 700nm~1400nm 범위에 해당하는 제 3 주파수의 광자를 각각 생성하는 단계;
- <38> 상기 제 1, 제 2 및 제 3 주파수의 광자를 상기 탈륨증기에 적용하는 단계
- <39> (여기서 상기 제 1 주파수의 광자는 복수의 바닥상태(ground state)의 탈륨원자( $^{203}\text{Tl}$ )를 여기상태를 거쳐 준안정상태로 동위원소-선택적으로 광펌핑하며,
- <40> 상기 제 2 주파수의 광자는 상기 준안정상태의 탈륨원자를 중간의 공명상태로 여기시키며,
- <41> 상기 제 3 주파수의 광자는, 상기 여기된 탈륨원자를 연속준위로 광이온화시킨다.); 및
- <42> 상기 광이온화된 탈륨 동위원소 이온을 수집하는 단계;
- <43> 를 포함한다.
- <44> 상기한 바와같이 본 발명의 방법에 의하면 표적 동위원소를 준안정 준위로 동위원소 선택적으로 광펌핑하는 단계(isotope selective optical pumping : ISOP)와,
- <45> 표적 동위원소가 점유하고 있는 준안정 준위의 원자를 여기 상태를 거쳐 연속 준위로 광이온시키는 공명 광이온화 단계를 거친다음 그 광이온화된 탈륨동위원소를 수집하는 단계를 거치게 된다.

- <46>      타켓동위원소의 효율적인 ISOP를 위하여는 단일 주파수의 연속발진형 (continuous wave: cw)레이저를 사용하는 것이 바람직하며, 이 ISOP를 통해 준안정 준위에는 표적 동위원소만이 대부분 존재하게 된다.
- <47>      한편, 공명 광이온화 단계는 상기 준안정 준위의 원자를 이온화시키는 단계로써, 자외선 영역의 펄스레이저와 적외선 영역의 펄스레이저를 사용한다. 이같이 본 발명에 의하면 탈륨원자를 레이저로 직접 광이온화시키기 때문에 광이온화가 고효율로 수행될 수 있으며 다량분리시에도 이온화율 저하가 일어나지 않는다.
- <48>      상기 이온화된 탈륨 동위원소는 전기장을 이용하여 외부로 추출하게 된다.
- <49>      이하 본 발명의 일실시예를 첨부도면에 따라 상세히 설명한다.
- <50>      도 1은 본 발명에 의한 방법을 실시하기 위한 장치의 개략도로써, 1은 가열에 의해 탈륨원자빔을 발생시키는 탈륨원자빔 발생장치로써 약 800~1000℃의 온도로 탈륨을 가열하여 원자빔을 발생시킨다.
- <51>      원자빔 발생장치 1에 의해 발생된 탈륨원자빔 2는 원자빔 콜리메이터 3에 의해 그 도플러선폭이 100MHz 정도로 만들어진다.
- <52>      이같은 탈륨원자빔은 예를들어 연속발진형 레이저(cw 레이저) 4에 의해 준안정 준위로 광펌핑(optical pumping)된다.
- <53>      연속발진형(cw) 레이저 4에 의해 준안정 준위로 광펌핑된 탈륨 표적 동위원소는 자외선영역과 적외선 영역의 2가지 펄스레이저 5 및 6에 의해 광이온화 된다.

- <54> 이같이 광이온화된 탈륨이온 8과 이때 발생된 전자 9는 전기장에 의해 탈륨 원자빔에서 분리되어 탈륨 이온수집장치 7내로 추출되게 된다.
- <55> 도 2는 본 발명에 의한 방법에 따라 탈륨이온을 분리시킬 때의 탈륨원자의 부분에너지 준위도이다.
- <56> 바닥준위  $|1\rangle$ 에 머물러 있는 탈륨 동위원소들 중에서 표적 동위원소는 cw 레이저에 의해 준위  $|2\rangle$ 로 여기되고 준위  $|2\rangle$ 로 여기된 동위원소는 바닥준위  $|1\rangle$ 로 자발감쇄(spontaneous decay)하거나 (도2a), 혹은 준안정 준위인  $|3\rangle$ 으로 펌핑된다(도2b). 준안정상태인  $|3\rangle$  준위의 수명은 약  $250\mu\text{s}$ 로 충분히 길기 때문에 광펌핑된 대부분의 동위원소는 오래동안  $|3\rangle$ 준위에 머물게된다. 바닥준위  $|1\rangle$ 로 자발 감쇄된 동위원소는 다시 cw 레이저에 의해  $|2\rangle$  준위로 여기되며, 이와같은 과정을 몇 차례 반복하면 대부분의 표적 동위원소는  $|3\rangle$  준위로 펌핑된다. 그러나 표적 동위원소 이외의 동위원소는  $|2\rangle$  준위로 여기 되지 않고 바닥상태에 머무르기 때문에 광펌핑 과정에서 매우 높은 동위원소 선택도를 얻을 수 있다.  $|3\rangle$  준위로 광펌핑된 표적 동위원소는 펄스 레이저에 의해 공명여기상태  $|4\rangle$  준위를 거쳐 연속 준위인  $|5\rangle$  준위로 광이온화 된다.
- <57> 탈륨 원자는  $30000\text{cm}^{-1}$ 보다 낮은 에너지 영역에 바닥준위( $6^2\text{P}_{1/2}:0\text{cm}^{-1}$ ), 준안정 준위( $6^2\text{P}_{3/2}:7793\text{cm}^{-1}$ ), 그리고 여기상태 ( $7^2\text{S}_{1/2}:26477.6\text{cm}^{-1}$ )준위만이 존재하는 매우 간단한 전자구조를 가진다. 그리고 탈륨원자는 효율적인 광펌핑을 위한 여러가지 잇점을 가지는데, 예를들어  $6^2\text{P}_{1/2}$  준위와  $6^2\text{S}_{1/2}$  준위 사이의 전기 쌍극자 모멘트(electric dipole moment)가 매우 크고,  $6^2\text{P}_{1/2}$  준위의 수명이 7.5nsec로 매우 짧고,  $6^2\text{S}_{1/2}$  준위와

준안정 준위인  $6^2P_{3/2}$  준위사이의 브랜칭비(branching ratio)가 바닥준위와  $6^2S_{1/2}$  사이의 것보다 크기 때문에 광펌핑에 매우 유리한 것이다. 따라서 cw 레이저 주파수가  $6^2P_{1/2}$  과  $6^2S_{1/2}$  의 전이선에 공명하는 파장에 해당하는 377.6nm 인 cw 레이저를 광펌핑 레이저로 사용할 경우 바닥준위의 표적 동위원소를 준안정상태로 손쉽게 광펌핑시킬 수 있다. 탈륨 원자빔을 1000℃ 이하의 온도에서 발생시킬 경우 탈륨원자의 준안정 준위의 밀도는  $10^{-3}$  이하이기 때문에, 이 영역의 온도에서 준안정 준위의 초기밀도(initial population)는 광펌핑단계에서 동위원소 선택도에 거의 영향을 미치지 않는 것이다.

<58> 도 3은 광펌핑전이에 관련된 탈륨 동위원소의 동위원소 이동과 초미세구조를 나타내고 있다. 이에 의하면  $6^2P_{1/2} \rightarrow 7^2S_{1/2}$  전이선의 동위원소 이동은  $F_g=1 \rightarrow F_e=1$  전이일 경우 약 1.6 GHz 이고,  $F_g=0 \rightarrow F_e=1$  전이일 경우는 약 1.5 GHz 이다. 따라서 원자빔의 도플러 선평이 수백 MHz 미만(약 100 MHz 내외)이 되도록 원자빔을 발생시키고, 표적 동위원소를 단일 주파수(single frequency)의 cw 레이저를 이용하여 광펌핑할 경우 타켓동위원소를 준안정 상태로 높은선택도로써 광펌핑이 가능하게 되는 것이다.

<59> 도 4는  $F_g=1 \rightarrow F_e=1$  전이선을 광펌핑 전이선으로 사용하고, 출력이 20mW 이고 직경이 10 mm 인 가우시안 세기(Gaussian intensity) 분포를 갖는 cw 레이저를 사용하여 광펌핑 스펙트럼을 측정한 결과를 나타내고 있으며, 도 5는  $F_g=1 \rightarrow F_e=1$  전이선을 광펌핑 전이선으로 사용하고, 출력이 200mW 인 cw 레이저가 직경이 10 mm 인 가우시안 분포

를 갖는다고 가정했을때의 광펄스 스펙트럼을 계산한 결과를 나타내고 있다. 이에 의하면 동위원소 이동이 1.6 GHz 임을 고려할때, 동위원소 선택도가 높음을 알 수 있다.

<60>      탈륨 원자는 바닥준위의 초미세구조 쪼개짐(hyperfine splitting)이 약 21 GHz인 반면, 준안정 준위의 초미세구조 쪼개짐은 약 500 MHz에 불과하여 초미세구조에 영향을 받지 않고 준안정 준위의 탈륨원자를 광이온화 시킬수 있다. 또한 전이파장이 292.15nm 인  $6^2P_{3/2} \rightarrow 7^2D_{3/2}$  전이선과 전이파장이 291.83 nm 인  $6^2P_{3/2} \rightarrow 7^2D_{5/2}$  전이선의 전기 쌍극자 모멘트가 매우 크기 때문에 낮은 출력의 레이저로도 준안정상태의 탈륨 원자를  $7^2D_{3/2}(42011.4\text{cm}^{-1})$  준위 혹은  $7^2D_{5/2}(42049.0\text{cm}^{-1})$  준위로 쉽게 여기시킬 수 있다. 따라서 여기를 위한 전이파장은 약 292nm이다.

<61>      도 6은 Nd:YAG 레이저의 1064 nm 파장에 있어서 탈륨원자의  $7^2D_{5/2}$  수준의 광이온화 단면적 측정결과를 타나낸 것으로서  $7^2D_{5/2}$  준위의 광이온화 단면적은  $2.7 \times 10^{-17}\text{cm}^2$  로 측정되었다. 이 측정값은, 펄스당 출력 밀도가 40 mJ/pulse/cm<sup>2</sup> 인 Nd:YAG 레이저를 사용할 경우  $7^2D_{5/2}$  준위로 여기된 탈륨원자를 80% 이상이 이온화될 수 있음을 의미한다.

<62>      탈륨원자의 이온화 전위(ionization potential, IP)는 약  $49266.7\text{cm}^{-1}$  이기 때문에 이온화 펄스레이저의 파장이 그 에너지범위가  $49266.7\text{cm}^{-1} \sim 55000\text{cm}^{-1}$ 에 해당하는 700~1400nm 범위라면 효율적인 광이온화가 가능해진다.

<63>      도 7은 본 발명에 의한 방법으로 탈륨 동위원소를 광이온화시키고 TOF(time-of-flight) 질량 분석기로 광이온의 질량 스펙트럼을 측정한 결과이다. 광펄스

레이저인 cw 레이저의 파장에 따라  $^{203}\text{Tl}$ 과  $^{205}\text{Tl}$ 중 어느 한 동위원소를 손쉽게 선택적으로 광이온화시킬 수 있는 것이다.  $^{203}\text{Tl}$  동위원소의 상업적 분리에 본 발명에 의한 방법을 적용하여 연간 1 kg/year 생산을 목표로 할 경우 cw 광펌핑 레이저는 약 500 mW의 출력으로 가능하며, 자외선 펄스 레이저는 약 4W, 적외선 펄스 레이저는 약 500 W 정도에서, 펄스 반복율은 5 kHz 내외면 가능하다. 이같은 레이저 시스템은 상업적으로 구입 가능한 레이저를 사용하여 구축될 수 있는 것이다.

<64>      상기 본 발명에 대한 기술은 단지 예시된 것으로 해석되어야 하며, 이분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기한 바를 기초로 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 그 변형이 가능한 것이다.

#### 【발명의 효과】

<65>      상기한 바와같이 본 발명에 의하면 현재 상업적으로 적용되고 있는 전자기적 방법에 비해 보다 경제적으로  $^{203}\text{Tl}$ 을 분리할수 있으며, 상업적으로 이용가능한 레이저 장치를 이용하여 소규모의 장치로도 다량의  $^{203}\text{Tl}$  동위원소 제조가 가능한 것이다.



**【특허청구범위】****【청구항 1】**

$^{203}\text{Tl}$ 과  $^{205}\text{Tl}$ 등 복수의 동위원소를 갖는 탈륨증기로 부터 특정 탈륨 동위원소를 분리하는 방법에 있어서,

레이저 시스템에 의해 파장 378nm에 해당하는 제 1 주파수의 광자, 파장 292nm에 해당하는 제 2 주파수의 광자 및 파장 700nm~1400nm 범위에 해당하는 제 3 주파수의 광을 각각 생성하는 단계;

상기 제 1, 제 2 및 제 3 주파수의 광자를 상기 탈륨증기에 적용하여,

상기 제 1 주파수의 광자가 복수의 바닥상태(ground state)의 탈륨원자( $^{203}\text{Tl}$ )을 여기상태를 거쳐 준안정상태로 동위원소-선택적으로 광펌핑하게 하고,

상기 제 2 주파수의 광자는 상기 준안정상태의 탈륨원자를 중간의 공명상태로 여기시키며,

상기 제 3 주파수의 광자가 상기 여기된 탈륨원자를 연속준위로 광이온화시키는 단계; 및

상기 광이온화된 탈륨 동위원소 이온을 수집하는 단계;

를 포함함을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 2】**

1항에 있어서, 상기 제 1 주파수의 광자는 하나이상의 연속발진형 레이저 (continuous wave laser)에 의해 생성됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 3】**

1항에 있어서, 상기 광 펌핑단계는 상기 제 1 주파수의 광자가 상기 탈륨동위원소를 바닥상태에서 그 바닥상태의 제로(0)에너지에 대하여 에너지  $26477.6\text{cm}^{-1}$ 에서의 제 1 여기상태를 통해 에너지  $7793\text{cm}^{-1}$ 에서의 준안정상태로 동위원소-선택적으로 광펌핑함으로써 수행됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 4】**

1항에 있어서, 상기 제 2 주파수의 광자는 하나이상의 펄스레이저에 의해 생성됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 5】**

1항 또는 4항중 어느 한항에 있어서, 상기 제 2 주파수의 광자에 의한 준안정상태에서 공명상태로의 여기는 상기 바닥상태의 제로(0) 에너지에 대하여 에너지  $42049\text{cm}^{-1}$ 에서의 제 2 여기상태로 여기시킴으로서 수행됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 6】**

1항 또는 4항중 어느 한 항에 있어서, 상기 제 2 주파수의 광자에 의한 준안정상태에서 공명상태로의 여기는 상기 바닥상태의 제로(0)에너지에 대하여 에너지  $42011.4\text{cm}^{-1}$ 에서의 제 2 여기상태로 여기시킴으로서 수행됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 7】**

1항에 있어서, 상기 제 3 주파수의 광자는 하나이상의 펄스레이저에 의해 생성됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 8】**

1항에 있어서, 상기 제 3 주파수의 광자에 의한 광이온화 단계는 상기 제 3 주파수의 광자를 적용하여 에너지  $42049\text{cm}^{-1}$ 에서의 제 2 여기상태에 있는 탈륨원자를 상기 바닥상태의 제로(0)에너지에 대하여  $49266.7\text{cm}^{-1}\sim 55000\text{cm}^{-1}$  에너지 범위인 연속준위를 통해 이온화시킴으로써 수행됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 9】**

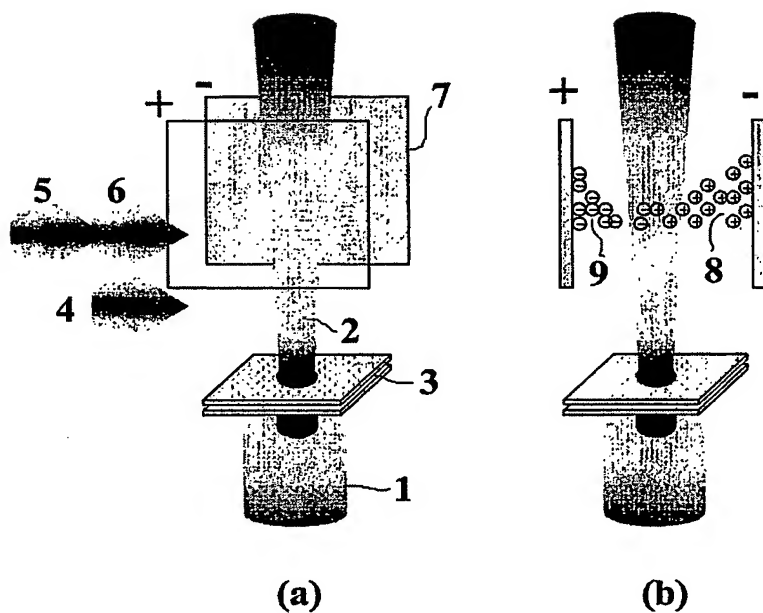
1항에 있어서, 상기 제 3 주파수의 광자에 의한 광이온화단계는 상기 제 3 주파수의 광자를 적용하여 에너지  $42011.4\text{cm}^{-1}$ 에서의 제 2 여기 상태에 있는 탈륨원자를 상기 바닥상태의 제로(0)에너지에 대하여  $49266.7\text{cm}^{-1}\sim 55000\text{cm}^{-1}$  에너지 범위인 연속준위를 통해 이온화 시킴으로써 수행됨을 특징으로 하는 방법.

**【청구항 10】**

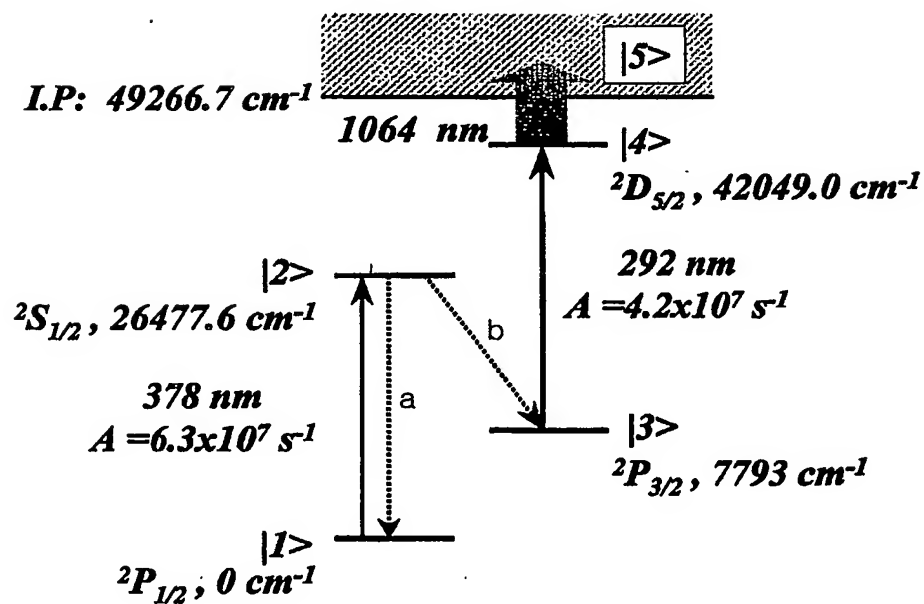
1항에 있어서, 상기 광이온화된 탈륨 동위원소이온 수집단계는 상기 탈륨증기에 전기장을 인가하여 수행됨을 특징으로 하는 방법.

【도면】

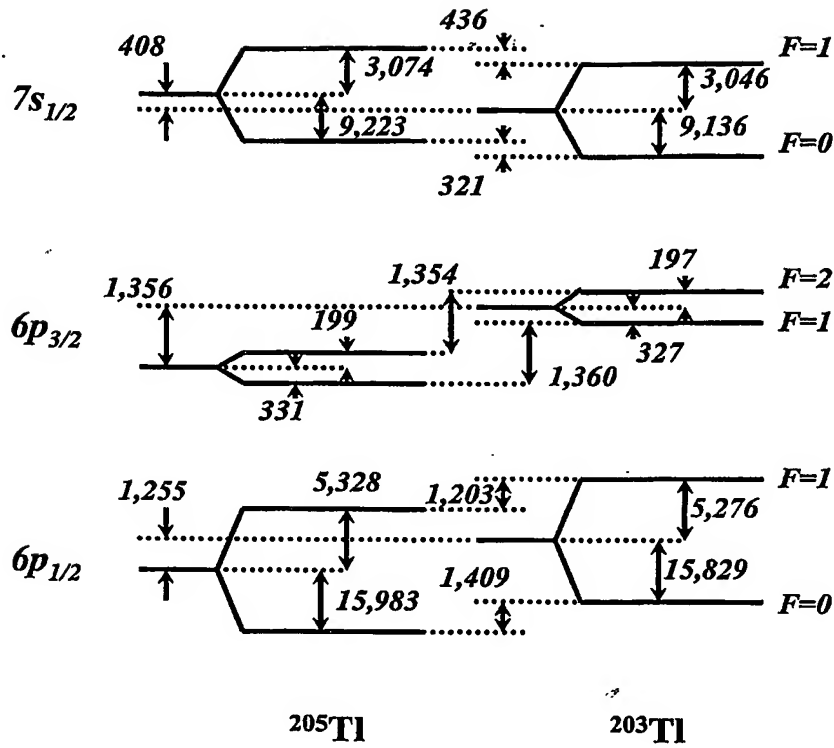
【도 1】



【도 2】

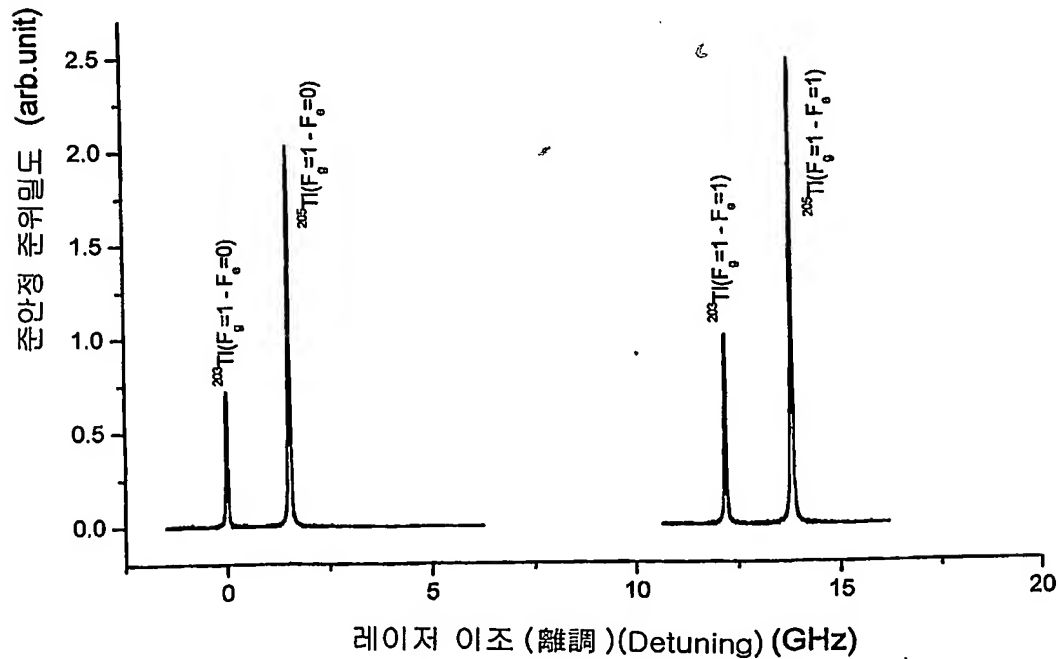


【도 3】

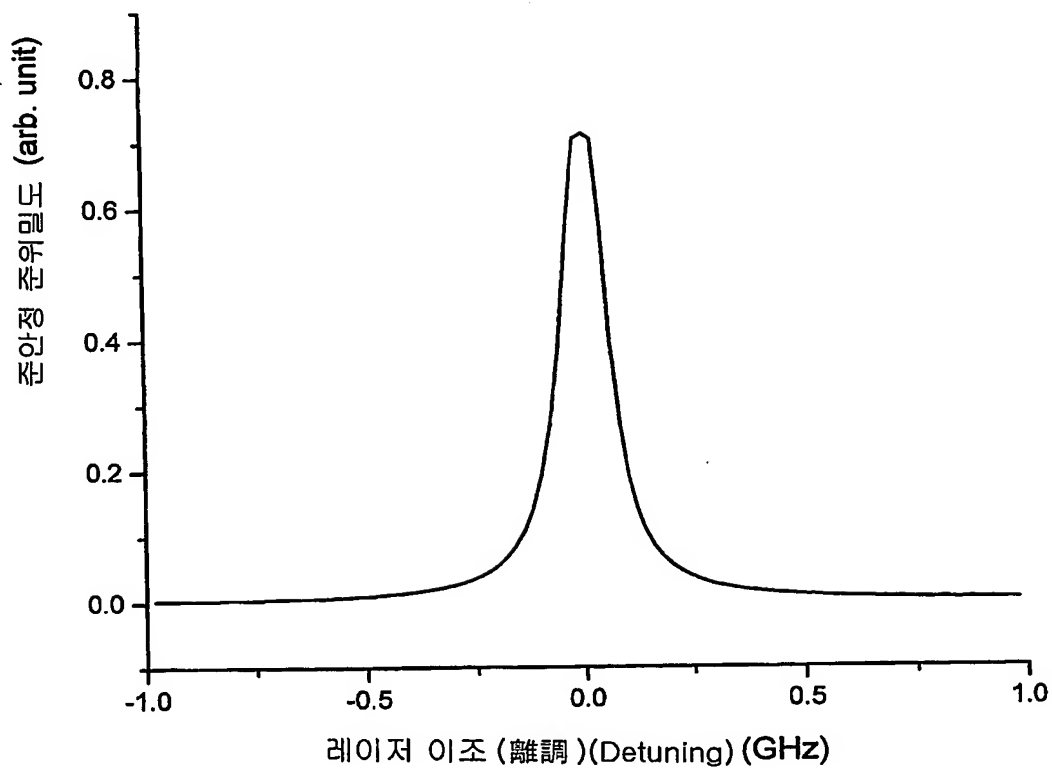


(Energy given in MHz)

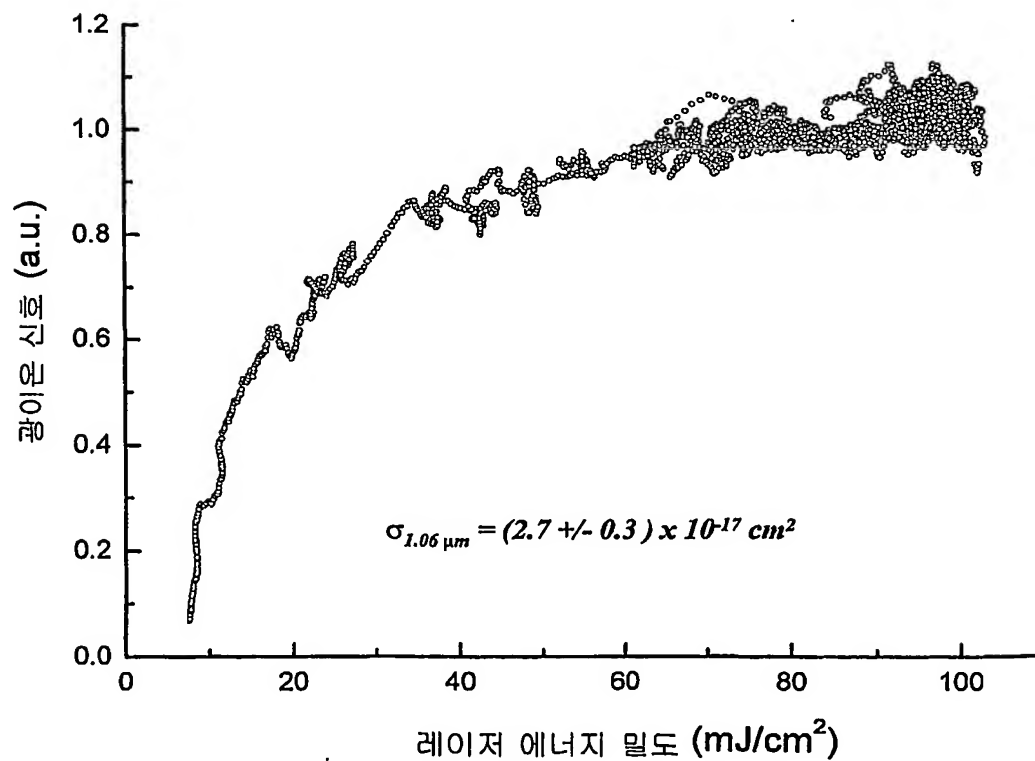
【도 4】



【도 5】



【도 6】



【도 7】

